FLUJO EN CANAL ABIERTO (CAUCE ABIERTO)

Ecuación general de flujo en cauce abierto

$$Q = AC\sqrt{RI}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

Donde:

Q: Caudal
A: Área de sección *(sección mojada)*
C: Coeficiente de CHEZY
R: Radio hidráulico
I: Gradiente hidráulico
P: Perímetro mojado
n: Coeficiente de rugosidad *(se encuentra en las tablas)*

Según MANNING:

$$C = \frac{1}{n} * R^{1/6}$$

$$Q = A * \frac{1}{n} * R^{1/6} * \sqrt{RI}$$



$$Q = \frac{A\,R^{2/3}\ I^{1/2}}{n}$$

$$\boldsymbol{Q = \frac{A^{5/3}\ I^{1/2}}{P^{2/3}\ n}}$$

$$K = \frac{A\,R^{2/3}}{n}$$

Características de gasto para cualquier tirante

$$Q = K\,I^{1/2}$$

Flujo uniforme en causes abiertos prismáticos

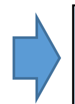
Sabemos que:

$$I = \frac{dh_w}{dL} = sen\alpha = S$$

S: Pendiente de fondo

Luego quedarían las siguientes formulas:

$$Q = \frac{A\,R^{2/3}\ S^{1/2}}{n}$$



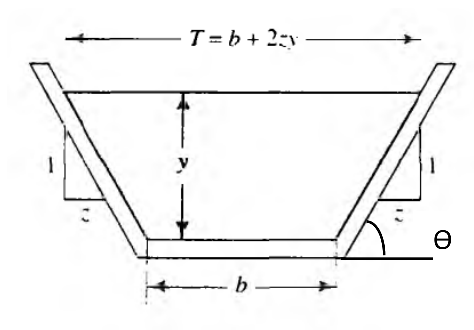
$$\boldsymbol{Q = \frac{A^{5/3}\ S^{1/2}}{P^{2/3}\ n}}$$

$$K_0 = \frac{A\,R^{2/3}}{n}$$

Para tirante uniforme o normal

$$Q = K_0\,S^{1/2}$$

SECCIÓN TRAPEZOIDAL



Donde:

b: ancho de fondo
T: ancho de la superficie libre
y: tirante
z: Ctgɵ, coeficiente de talud

$$A = by + zy^2$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$$

SECCIÓN TRAPEZOIDAL de Máxima eficiencia hidráulica *(Válido para sección triangular y trapezoidal)*

Sean constantes: A, S, n, z. La sección de máxima eficiencia hidráulica es la que conduce mayor caudal

$$\boldsymbol{Q = \frac{A^{5/3}\ S^{1/2}}{P^{2/3}\ n}}$$

$$\boldsymbol{Q = \frac{a}{P^{2/3}}}$$

$$Donde\ a = cte$$

$$\beta_{máx.\ efic.} = 2(\sqrt{1 + z^2} - z)$$

$$\frac{b}{y} = \beta_{máx.\ efic.}$$

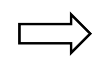
Para radio hidráulico:

$$R_{máx.\ efic.} = \frac{y}{2}$$

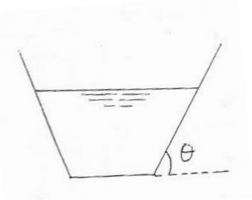
Máxima eficiencia hidráulica para canal trapezoidal para $y_o = ct$

Sean constantes: A, S, n, y_o

$$z = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$Para:\ \theta = 60$ 

Para un tirante dado o conocido

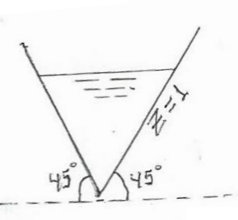


SECCIÓN TRIANGULAR de Máxima eficiencia hidráulica.

Sean constantes: A, S, n

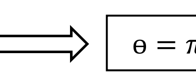
$$z = 1$$

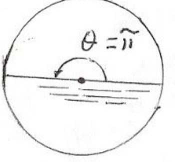
$Para:\ \theta = 45$



SECCIÓN CIRCULAR de Máxima eficiencia hidráulica.

Sean constantes: A, S, n

$\theta - 2sen\theta + \theta cos\theta = 0$  $\theta = \pi$



ENERGÍA ESPECÍFICA DE LA SECCIÓN:

$$E = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \Rightarrow E = y + \frac{V^2}{2g}$$

TIRANTE CRÍTICO (y_{cr})

$$\frac{Q^2\ T}{g\ A^3} = 1$$

→ *Condición para tirante crítico*

NÚMERO DE FROUDE (F_r)

$$F_r = \frac{V^2}{g\ L}$$

*Si tomamos **L=ȳ***

Donde ȳ: tirante promedio de cauce

$$\dot{F}_r = \frac{Q^2\ T}{g\ A^3} \Rightarrow \dot{F}_r = 1$$

→ *Condición para tirante crítico*

Tirante crítico para sección rectangular

$$y_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g\ b^2}}$$

Tirante crítico para sección triangular

$$y_{cr} = \sqrt[5]{\frac{2Q^2}{g\ z^2}}$$

OTRAS SECCIONES:

Para otras secciones debemos proponer un valor de "y", y calcular $\dot{F}_r$. El valor de "y" que haga el $\dot{F}_r = 1$ será el tirante crítico (y_{cr})

$\boldsymbol{Si}\ \dot{F}_r < 1$ →	*El flujo se llama sub crítico o fluvial*
$\boldsymbol{Si}\ \dot{F}_r > 1$ →	*El flujo se llama super crítico o torrentoso*
$\boldsymbol{Si}\ \dot{F}_r = 1$ →	*Condiciones críticas*

PENDIENTE CRÍTICA (S_{cr})

$$S_{cr} = \left(\frac{Q\ P_{cr}^{2/3}}{A_{cr}^{5/3}} * n\right)^2$$

Donde: P_{cr} y A_{cr} en función de y_{cr}

ECUACIÓN DIFERENCIAL DE FLUJO VARIADO

PARA CAUCES PRISMÁTICOS

$$\frac{dy}{dL} = \frac{S(1 - \frac{K_0^2}{K^2})}{(1 - \dot{F}_r)}$$

→ *Para el análisis de las curvas de REMANSO Y DERRAME*

INTEGRACIÓN DE LA ECUACIÓN DIFERENCIAL SEGÚN BAKHMETEV, PARA S > 0

$$(\frac{K_1}{K_2})^2 = (\frac{y_1}{y_2})^x$$

Ecuación de Bakhmetev

$$K = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3} * n}$$

$$x = \frac{2\log(\frac{K_1}{K_2})}{\log(\frac{y_1}{y_2})}$$

x=Exponente hidráulico del cauce

$$\eta = \frac{y}{y_0}$$

→ *Tirante relativo*

$$j = \frac{SC^2T}{gP}$$

$$J = \frac{j_1 + j_2}{2}$$

$$C = \frac{1}{n}R^{1/6} = \frac{1}{n}(\frac{A}{P})^{1/6}$$

$$\Delta L = \frac{y_0}{S}[\eta_2 - \eta_1 - (1 - J) * \int_{\eta_1}^{\eta_2} \frac{d\eta}{1 - \eta^x}]$$

Para calcular distancia entre dos puntos

MÉTODO DE DIFERENCIAS FINITAS PARA CUALQUIER "S"

$$\Delta L_i = \frac{E_{i+1} - E_i}{S_i - \bar{I}_i}$$

$$E_i = y_i + \frac{V_i^2}{2g}$$

$$\bar{I}_i = \frac{I_i + I_{i+1}}{2}$$

$$Q = \frac{A^{5/3} * I^{1/2}}{P^{2/3} * n}$$

$$I_i = (\frac{Q P_i^{2/3} * n}{A_i^{5/3}})^2$$

$$I_{i+1} = (\frac{Q P_{i+1}^{2/3} * n}{A_{i+1}^{5/3}})^2$$

INTEGRCIÓN DE BAKHMETEV PARA S = 0

$$\boldsymbol{Q} = \frac{\boldsymbol{A^{5/3} S^{1/2}}}{\boldsymbol{P^{2/3} n}}$$

$$S_{cr} = (\frac{Q P_{cr}^{2/3}}{A_{cr}^{5/3}} * n)^2$$

$$K_{cr} = \frac{A_{cr}^{5/3}}{P_{cr}^{2/3} * n}$$

$$j_{cr} = \frac{S_{cr}C^2T}{gP}$$

$$\varepsilon = \frac{y}{y_{cr}}$$

→ *Tirante relativ*

$$J_{cr} = \frac{j_{cr1} + j_{cr2}}{2}$$

$$\int_{L_1}^{L_2} dL = \frac{y_{cr}}{S_{cr}} \int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_2} (J_{cr} - \varepsilon^x) d\varepsilon$$

$$\Delta L = \frac{y_{cr}}{S_{cr}}[J_{cr}(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) - \left(\frac{\varepsilon_2^{x+1} - \varepsilon_1^{x+1}}{x + 1}\right)]$$

SALTO HIDRÁULICO O RESALTO HIDRÁULICO

Supercrítico $\dot{F}_r > 1$ → $y < y_{cr}$

Sub crítico $\dot{F}_r < 1$ → $y > y_{cr}$

Cuando $y_o > y_{cr}$ → $\dot{F}_r < 1$ *, la velocidad disminuye*

Cuando $y_o < y_{cr}$ → $\dot{F}_r > 1$ *la velocidad aumenta*

Cuando $y_2 > 1.3y_{cr}$ → Se forma rollo superficial (salto perfecto)

Cuando $y_2 \leq y_{cr}$ → Se forma salto ondulado

ECUACIÓN PRINCIPAL DEL SALTO HIDRÁULICO

$$\ddot{h}_1 A_1 + \frac{Q^2}{gA_1} = \ddot{h}_2 A_2 + \frac{Q^2}{gA_2} = S(y) \quad \Rightarrow \quad S(y_1) = S(y_2)$$

SALTO HIDRÁULICO PARA CAUCE RECTANGULAR

$$y_1 = \frac{y_2}{2}\left[\sqrt{1 + 8\left(\frac{y_{cr}}{y_2}\right)^3} - 1\right] \qquad y_2 = \frac{y_1}{2}\left[\sqrt{1 + 8\left(\frac{y_{cr}}{y_1}\right)^3} - 1\right]$$

FÓRMULAS DE LONGITUD DE SALTO (Ls)

$$L_s = 2.5(1.9y_2 - y_1) \qquad L_s = 3.6y_2\left(1 - \frac{y_1}{y_2}\right)\left(1 + \frac{y_1}{y_2}\right)^2$$

$$L_s = 10.3y_1\left[\sqrt{\left(\frac{y_{cr}}{y_1}\right)^3} - 1\right]^{0.81}$$

FLUJO A TRAVÉS DE ORIFICIOS

$$Vc = Cv * \sqrt{2gH} \qquad Q = C_d A * \sqrt{2gH}$$

$$\varepsilon = \frac{A_C}{A} \qquad Q = C_V \varepsilon A * \sqrt{2gH} \qquad C_V \varepsilon = C_d$$

Donde: Cv = Coeficiente de velocidad

Cd = Coeficiente de descarga

ε = Coeficiente de contracción

Para orificios pequeños circulares $H \geq 10d$ $\quad Cv = 0.97, \quad \varepsilon = 0.64 \quad y \quad Cd = 0.62$

Para orificios Grandes

$$Q = C_d b\sqrt{2g} * \frac{2}{3}\left(H_2^{\frac{3}{2}} - H_1^{\frac{3}{2}}\right)$$

FLUJO POR ALIVIADORES

Fórmula General:

$$Q = m_0 b\sqrt{2g}\ H^{3/2}$$

$$Ho = H + \frac{V_o^2}{2g} \qquad Q = mb\sqrt{2g}\ H^{3/2}$$

Donde: H = Carga sobre el aliviadero

Vo = Velocidad de aproximación

P = Altura del aliviadero desde aguas arriba

P´ = Altura del aliviadero desde aguas abajo

b = Ancho del aliviadero

B = Ancho del cause

t = Profundidad aguas abajo

C = Espesor del aliviadero

Z = Altura en aguas arriba y aguas abajo

m = Coeficiente de gasto sin influencia de Vo

mo = Coeficiente de gasto con influencia de Vo

SIN CONTRACCIÓN LATERAL

$$m_o = \left(0.405 + \frac{0.0027}{H}\right) * [1 + 0.55(\frac{H}{H+P})^2]$$

CUANDO HAY CONTRACCIÓN LATERAL

$$m_C = [0.405 + \frac{0.0027}{H} - 0.03 * \frac{(B-b)}{B}] * [1 + 0.55(\frac{b}{B})^2(\frac{H}{H+P})^2]$$

SUMERSIÓN: Debe cumplir dos condiciones

$$Z < H$$

$$\frac{Z}{P'} < 0.7$$

$$Q = m_o \sigma_S b\sqrt{2g} * H^{3/2}$$

$$\sigma_S = 1.05\left[1 + 0.2 * \frac{(H-Z)}{P'}\right] * \sqrt[3]{\frac{H}{Z}}$$

$\sigma_S = Coeficiente\ de\ sumersión$

ALIVIADERO DE PERFIL PRÁCTICO: Cuando

$$0.5H \leq C \leq 2H$$

$$m = 0.42(0.7 + 0.183\frac{H}{C})$$

PERFIL CREAGER: Aliviaderos de perfil curvo

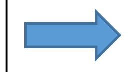
$$m = m_g \sigma_c \sigma_f$$

$m_g = 0.49$

$\sigma_C = Coeficiente\ de\ uso\ de\ carga$

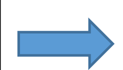
$\sigma_f = Coeficiente\ de\ forma, depende\ de \frac{l}{p}, \alpha_1\ y\ \alpha_2$

$$\sigma_C = (0.785 + 0.25\frac{H}{H_C})$$



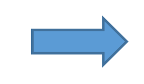
$Para\ \frac{H}{H_C} \leq 0.8$

$$\sigma_C = (0.88 + 0.12\sqrt{\frac{H}{H_C}})$$



$Para\ 0.8 < \frac{H}{H_C} \leq 1$

$$m = 0.36 + 0.1 * \frac{2.5 + \frac{C}{H}}{1 + 2 * \frac{C}{H}}$$



$Para\ 0.3 \leq \frac{C}{H} \leq 2.5$

Considerando contracción lateral se utilizará el ancho efectivo:

$$b_e = \varepsilon b$$ → *Ancho efectivo para una sola ventana*

$$\varepsilon = 1 - 0.2\varepsilon_{\iota}\frac{H_o}{b}$$ $\varepsilon_{\iota} = Coeficiente\ que\ depende\ de\ la\ forma\ de\ los\ estribos\ y\ pilotes$

$$B_e = \sum b - 0.2n\varepsilon_{\iota}\frac{H_o}{b}$$ → *Ancho efectivo para varias ventanas*

ALIVIADERO DE UMBRAL ANCHO: Cuando, ***2H ≤ C ≤ 10H***

$$m = 0.36 + 0.01 * \frac{3 - \frac{P}{H}}{1.2 + 1.5 * \frac{P}{H}}$$ → *Para* $\frac{P}{H} \leq 3$ *y borde redondeado a la entrada*

$$m = 0.32 + 0.01 * \frac{3 - \frac{P}{H}}{0.46 + 0.75 * \frac{P}{H}}$$ → *Para borde agudo*

SUMERSIÓN: Las condiciones de sumersión son las mismas que las de pared delgada

1.- $Z < H$

2.- $\frac{Z}{P'} < 0.7$

$$\sigma_S = f(\frac{h_S}{H_o})$$ $$H_O = H + \frac{V_o^2}{2g}$$ $$h_S = H - Z$$

$\sigma_S = Valores\ en\ las\ tablas$

Condiciones de sumersión: $h_S > 0.8H_o$ y $h_S > y_{cr}$

ALTURA CONTRAIDA: Para pendientes cortos

$$y_C = \frac{q}{C_V * \sqrt{2g(P' + H_o - y_C)}}$$ $\frac{Q}{b} = q$ → *Caudal unitario (caudal por unidad de ancho)*

$Donde: C_V = 0.95, \ldots, 1$

Poza de disipación se hace cuando segundo tirante conjugado es mayor que “t”; es decir:

$$y_2 > t$$